Aus dem Zahnärztlichen Institut der Universität Marburg
Direktor: Professor Dr. Hans Fliege

Prüfungsmethoden zur Erfassung der physikalischen Eigenschaften des Kautschuks in der Zahnheilkunde

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde

der

Hohen Medizinischen Fakultät

der

Philipps-Universität zu Marburg

vorgelegt von

Fritz Konze
approb. Zahnarzt aus Heringen/Werra

Marburg 1938

R. Friedrichs Universitäts-Buchdruckerei (Inhaber: Karl Gleiser)

Angenommen von der Medizinischen Fakultät am 4. März 1938

Referent: Professor Dr. A. Elbrecht

Korreferent: Professor Dr. Hans Fliege

Gedruckt mit Genehmigung der Fakultät.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Meinem Onkel Karl Konze

zu seinem 55. Geburtstage

in Dankbarkeit gewidmet.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555610_0206

Als Dr. Thomas W. Evans, Zahnarzt des Kaisers Napoleon, der Amerikaner Goodyear und Charles Morey, ein Franzose, um 1850 noch darum im Streite lagen, wer von ihnen die Präparationsmethode des vulkanisierten Kautschuks und dessen Einführung in die Zahnheilkunde zuerst eingeführt und erfunden habe, setzte damit bereits eine neue Epoche in der Materialienfrage der Zahnersatzkunde ein. Mehr und mehr wurde der vulkanisierte Kautschuk zum Träger künstlicher Zähne und trat damit in harten Kampf mit Metall, das damals das Fundament künstlicher Gebisse war. So zeigt die Literatur der letzten fünf Jahrzehnte des vergangenen Jahrhunderts Fragen und Erwägungen über das Für und Wider von Kautschuk und Metallstücken in der Zahnheilkunde. Beide Materialien sollten miteinander verbunden werden, um in der zahnärztlichen Prothetik Verwendung zu finden. Diese Fragen führten dann zwangsläufig dazu, sich zunächst mit den chemischen und physikalischen Eigenschaften dieser Materialien zu befassen, ohne deren Kenntnis eine Verarbeitung und Verwendung in der Zahnersatzkunde einfach eine Unmöglichkeit ist. Merkwürdigerweise zeigt auch hier wieder die Literatur, daß das Studium des Zahnkautschuks in Bezug auf seine chemischen Eigenschaften wesentlich im Vordergrund stand und die Erforschung der physikalischen Eigenschaften und die hierzu notwendigen Prüfungsmethoden zur Erfassung der mechanischen Eigenschaften des in der Zahnheilkunde verwandten und zu verwendenden vulkanisierten Kautschuks sehr zu wünschen übrig ließ.

Vorliegende Arbeit soll aus der mir zugänglichen Literatur zunächst eine möglichst kurze Zusammenstellung aller bisherigen Prüfungsmethoden in Bezug auf die physikalischen Eigenschaften des Zahnkautschuks bringen. Dabei soll von den Gesichtspunkten ausgegangen werden, welche physikalischen Eigenschaften des Zahnkautschuks der jeweilige Verfasser untersucht hat, wie und mit welchen Mitteln die Untersuchung durchgeführt wurde und was das Ergebnis seiner Untersuchung gewesen ist. Diese Zusammenstellung soll als Grundlage für eine Reihe weiterer Arbeiten über physikalische Prüfungsmethoden des Kautschuks dienen.

Es war zunächst im Jahre 1888 Snow, der sich in einem Referat „Ueber physikalische Eigenschaften des Kautschuks“ mit

dessen Expansion und Schrumpfung befaßt. Er machte sich einen Würfel aus vulkanisiertem Kautschuk von gleich groß geschnittenen Stückchen, im Durchmesser ungefähr $^5/_8$—$^6/_8$ Zoll, gipste diesen Würfel in eine Küvette ein, ließ diesen Gips 24 Stunden lang trocknen und vulkanisierte dann nach der üblichen Vorschrift. Er fand, daß nach der Vulkanisation der Gips an jeder Ecke des Würfels gebrochen und Kautschuk in die entstandene Lücke eingedrungen war, was auf die Expansion des Kautschuks beim Vulkanisieren zurückzuführen ist, da für den überschüssigen Kautschuk keine Abzugskanäle vorhanden waren. Außerdem waren die Seitenflächen des Würfels nicht mehr plan, sondern konkav, welches darauf zurückzuführen ist, daß der Kautschuk durch die Vulkanisation dichter wird und deshalb eine Verkleinerung seiner ursprünglichen Form eintritt, eine Erscheinung, die bei allen Kautschuksorten gleich ist. Neben der Verkleinerung des Kubus spielt die Schrumpfung eine beträchtliche Rolle, die durch Veränderung der Temperatur eintritt.

1891 vulkanisierte C. Bright unter Berücksichtigung der von den Fabrikanten herausgegebenen Vulkanisationsvorschriften 13 Kautschukarten, um sie auf ihre „größte Biegungsfähigkeit" hin zu untersuchen. Eine Beschreibung des hierzu verwandten Apparates liegt nicht vor. Aus dem Ergebnis seiner Experimente zwecks Feststellung der Widerstandsfähigkeit des Kautschuks ist anzunehmen, daß er etwa in folgender Weise vorgegangen ist: Eine vulkanisierte Kautschukplatte wurde in horizontaler Ebene eingeklemmt. Das freie Ende mit einem konstanten Gewicht belastet. Dabei stellte er den Winkel fest, der gebildet wird von der Ebene der Platte ohne Belastung in Ruhestellung einerseits und der Ebene der Platte mit Belastung in Ruhestellung andererseits. So erhielt er den Grad der Biegung der Platten. Dann erhöhte er das Gewicht um je 1 kg bis schließlich die Mehrbelastung zum Bruch der Platte führte und stellte damit die „Widerstandskraft gegen Bruch" mit demselben Apparat fest. Als „stärkste Sorte" erwies sich C. Ash's und Sons schwarzer Kautschuk „weil er die größte Biegungsfähigkeit besitzt und sich hinsichtlich der Elastizität kaum von Whalebone Nr. 1 unterscheiden läßt".

1897 untersuchten Dr. med. Jung und sein Schüler A. Müller am Zahnärztlichen Institut in Heidelberg, das spezifische Gewicht, die Volumzunahme, den Schwindeprozeß, die Festigkeit und Haftintensität des Kautschuks. Sie vulkanisierten Ash's Orangekautschuk von 1,688 spez. Gew. 1 Std. bei 100 Pfd. engl. Druck = 170° C. Mehrere Stücke Kautschuk wurden gewogen, vulkanisiert und wieder gewogen. Auf Grund der Ergebnisse dieser Wägungen stellte Jung folgendes fest: „Das absolute Gewicht des Kautschuks

ist nach der Vulkanisation um 1,7 % größer geworden. Ebenso das spez. Gew. um 3 %". Daraus folgert Jung weiter: „Die Festigkeit der Materie, welche den Kautschuk umgibt, bedingt das höhere spez. Gew.; je weniger Raum der Kautschuk zum Ausdehnen hat, je mehr Widerstand er findet, desto dichter wird derselbe, und desto höheres spezifisches Gewicht bekommt man nach der Vulkanisation". Zur Bestimmung der Volumzunahme benutzte Jung zwei Glasröhren, stopfte sie mit Kautschuk aus, stellte das absolute Gewicht beider mit unvulkanisiertem Kautschuk gefüllten Glasröhren fest, verschloß beide Röhren mit Metalldeckeln, von denen je ein Deckel durchbohrt war. Nach der Vulkanisation stellte Jung fest, „daß 4,5 % des Kautschuks aus der Durchbohrung ausgetreten waren und er sich damit also um 4,5 % seines Gesamtvolumens ausgedehnt hatte". Um den Schwindeprozeß experimentell zu demonstrieren, ließ der Verfasser in Stahlplatten von verschiedener Dicke (1—10 mm) rechteckige Löcher ausschneiden, die durch einen kleinen Spalt mit einem kleinen runden Loch verbunden waren (Abb. 1 u. 2). Auf diese Platte wurden Boden und

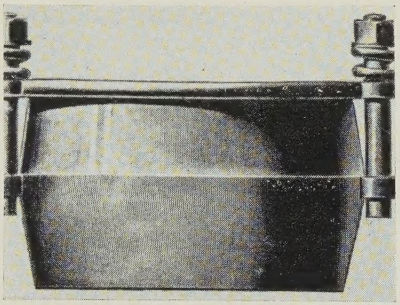


Abb. 1.

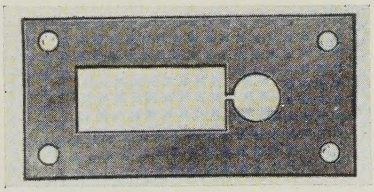


Abb. 2.

Deckel aufgeschraubt, das rechteckige Loch mit Kautschuk aus, gestopft und vulkanisiert. Es zeigte sich nach der Vulkanisation, daß Kautschuk durch den Spalt in das runde Loch getreten war. Die Oberfläche des Kautschuks erschien mit Schwindestellen bedeckt. Dann füllte er das kleine Loch mit einem passenden Metallstück aus und brachte etwas weniger Kautschuk in das Rechteck,

um Gelegenheit zum Ausdehnen zu geben. Es trat die gleiche Erscheinung auf. Dagegen blieb sie aus, als er dasselbe in Gipsform ausführte. Um die Festigkeit verschiedener Kautschukarten nachzuprüfen, stellte er Zerreißversuche mit vulkanisierten, auf gleichem quadratischem Querschnitt zugeschnittenen Proben an, die er direkt auf Zug belastete. Die erhaltenen Werte lieferten ihm den Beweis, daß der schwarze Kautschuk der stärkste ist. Desgleichen stellte er Stäbe gleichen runden Querschnitts her mit einer Spannung von 4 cm beiderseitig aufgelegt und in der Mitte direkt belastet. Diese Werte ergaben ihm den „zähesten und stärksten Kautschuk". Zur Bestimmung der Haftintensität von Kautschuk an Metall vulkanisierte er verschiedene Metallbleche von 1 qcm Größe, auf der einen Seite mit einer Oese versehen, mit der anderen glatt polierten Fläche direkt auf den Kautschuk. Die Kautschukblöcke wurden eingespannt, an die Oesen eine Waagschale angebracht und mit zunehmenden Gewichten belastet, bis sich das Metall von dem Kautschuk löste. Dabei stellte Jung fest, daß nur wenig Metalle sich bei stärkerer Belastung nicht vom Kautschuk lösten.

1921 prüfte Gysi in seiner Arbeit „Kautschukvulkanisation", die Ergebnisse Snow's nach und kam zu der Ueberzeugung, daß das Konkavwerden der Flächen von einer beträchtlichen Volumveränderung herrührt. Um diese Volumveränderung festzustellen, ging Gysi von der Erwägung aus, daß zur Vulkanisation des Kautschuks die Hitze das Wesentliche ist und nicht der Dampfdruck, der es ja schließlich nur ermöglicht, Wasser im Kessel auf 170° zu erhitzen. Hat man eine Flüssigkeit, die sich bei normalem Druck auf etwa 170° erhitzen läßt, kann man in einem offenen Behälter vulkanisieren. Dazu geeignet ist das wasserfreie Glyzerin, das erst bei 290° C siedet. Nach Herstellung einer entsprechend geeigneten Einrichtung war es Gysi möglich, die Wärmedehnung, die molekulare Schrumpfung, die Schwefelwasserstoffgasentwicklung und die Abkühlungskontraktion des Kautschuks während des Vulkanisierens zu beobachten und zu messen. Er stellte fest, daß der Kautschuk seine größte Wärmedehnung bei 145° C erreicht, und dann setzt die molekulare Schrumpfung ein, weil dann eigentlich erst die Vulkanisation beginnt und sich die molekulare Schrumpfung während der gesamten Vulkanisationszeit ändert. Andere Experimente Gysis, deren Erörterung sich hier erübrigt, zeigen, daß es Methoden gibt, um die Schrumpfung des Kautschuks auf einen möglichst kleinen Prozentsatz herabzudrücken.

Brammer weist in seiner Arbeit über „Kautschukschrumpfung, ihre Behebung und ihre Bedeutung" auf diese von Gysi einwandfrei festgestellten Beobachtungen fußend hin und stellt fest, daß sich tatsächlich an der Rückfläche von Zähnen ein Spalt be-

findet, der sich im roten Kautschuk entlang der glatten Rückfläche des Zahnkörpers erstreckt und meistens nur innerhalb des Prothesenkörpers im Kautschuk selber sichtbar ist. Um nun, durch Belegen des Wachsmodells mit Zinnfolie, die Schrumpfung möglichst abzulenken, stellte Brammer 15 totale obere Prothesen auf, palatinal und labial mit Zinnfolie belegt. Er stellte nach der Vulkanisation fest, „daß die Methode der Zinnfolie trotz sorgfältigster Arbeit nicht in allen Fällen sicher ist. Weitere Versuche mit aluminiumhaltigem Kautschuk und Kombination dieser Methode mit der Gysis, ergaben recht gute Ergebnisse, auch bei den Molaren, wo vielfach eine geringe Schrumpfung auftritt. Und trotzdem führen auch diese besprochenen Methoden, einzeln angewendet oder gar kombiniert, durchaus nicht immer zum Ziel".

1926 stellt Saehrendt zwar in seiner Arbeit Zerreißversuche über die Haltefähigkeit und Verbindung von Kautschuk und Metall an, ohne dabei näher auf die Haltefähigkeit oder Festigkeit von Kautschuk einzugehen.

Bei der Bestimmung der Bruchfestigkeit und der Dichte ging Paetz 1921 von dem Gedanken aus, daß die „Vulkanisation" für gewöhnlich unter einem Ueberdruck von 7 Atm. oder einer Temperatur von 171° erfolgt. Die Dauer des Vulkanisationsvorganges richtet sich nach der Art des Kautschuks und seiner zu vulkanisierenden Stärke (60—70'). Es kam dem Verfasser darauf an, zwei Beobachtungsreihen aufzustellen, die das Verhältnis der spezifischen Dichte resp. Bruchfestigkeit des Zahnkautschuks zur Zeitdauer des Vulkanisationsprozesses zeigen, und eine zweite Reihe, die für die Anwendung der verschiedenen Temperaturen resp. Drucke in Frage kommt. Die Bestimmung des spez. Gew. wurde mit Hilfe des Pyknometers vorgenommen. Dabei kam der Verfasser zu dem Ergebnis, „daß das spez. Gew. des unvulkanisierten Kautschuks 1,7654 und das des vulkanisierten Kautschuks 1,872 beträgt". Bei der Untersuchung der Bruchfestigkeit des Kautschuks ging der Verfasser davon aus, daß die festen Körper nicht ganz starr sind, sie zeigen in größerem oder geringerem Maße die Eigenschaft der Elastizität, d. h. sie erleiden unter der Einwirkung von Kräften eine Veränderung der Gestalt, die sich mehr oder weniger von selbst wieder ausgleicht, wenn die Kräfte zu wirken aufgehört haben. Vollkommen elastisch würde ein Körper sein, wenn er seine erlittene Formänderung nach der Entlastung vollkommen ausgleicht. Unvollkommen elastisch ist ein Körper, wenn er nach der Entlastung nicht mehr ganz, auch noch nach bestimmter Ruhezeit, in den ursprünglichen Zustand zurückkehrt. Je nach der Wirkungsweise der Kräfte werden die Körper verschiedenartig beansprucht. Die Höchstbelastung, bis zu der ein Körper noch vollkommen elastisch bleibt, heißt seine Elastizitätsgrenze.

Wird jedoch bei Stoffen mit ausgesprochener Elastizitätsgrenze die wirkende Spannung über die Elastizitätsgrenze hinaus gesteigert, so wächst die Formänderung wesentlich schneller als die Spannung, es tritt eine merkbare, bleibende Formveränderung ein, die Dehnung genannt wird. Eine noch weitere Vergrößerung der Spannung bewirkt schließlich das Zerreißen, Zerdrücken oder Zerbrechen des Körpers. Damit ist der Bruch definiert. (Abb. 3)

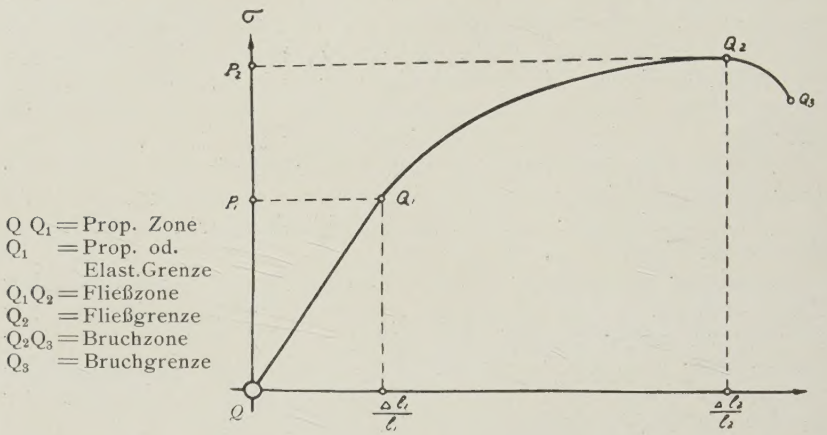


Abb. 3.

In diesem Falle handelt es sich um Beanspruchung auf Biegung des Kautschuks, die dadurch charakterisiert wird, daß, wenn äußere Kräfte das Bestreben haben, zwei Nachbarquerschnitte des Stabes um eine Achse derart zu drehen, daß die Entfernung zweier Querschnitte sich ändert. Die Biegung setzt sich aus zwei Komponenten zusammen, aus Druck und Zug, die sich lediglich durch die beiderseitig entgegengesetzte Kraftrichtung und Größe der Kraft unterscheiden. Die Beanspruchung auf Zug und Druck tritt auf, wenn die auf den Körper wirkenden Kräfte die Querschnitte so gegeneinander zu verschieben streben, daß sich ihre Entfernung in der Richtung der Achse gegeneinander vergrößert oder verringert. Die Versuche wurden von Paetz bei einer Zimmertemperatur von 17—18° C vorgenommen. Die Versuchsanordnung war derart getroffen, daß das eine Ende des Probestabes in eine feste Wand unverrückbar fest eingeklemmt war und das freie Ende mit einem Gewicht belastet wurde. Dabei tritt Biegung des Stabes auf. Diese Biegung ist abhängig von der quantitativen Belastung. Geht diese Belastung über ein Maximum hinaus, so tritt ein Bruch des Stabes ein. Es kam nun dem Verfasser darauf an, die Zahl oder Kraft „Bruchbiegungsspannung" zu ermitteln. Die Belastung des

Versuchsstabes erfolgte durch Hebelübersetzung, die es ermöglichte, mit verhältnismäßig kleinen Gewichtsmengen das Ziel zu erreichen

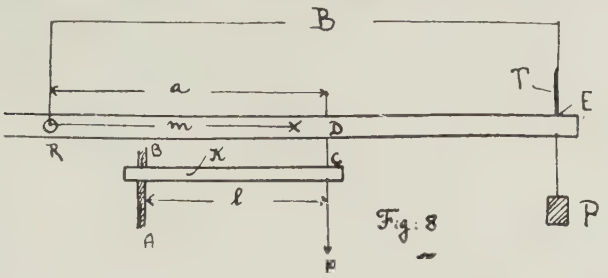


Abb. 8.

(Bild 8). Dabei kommt der Verfasser zu dem Ergebnis:

1. „Erhöhung des Dampfdruckes und konstante Vulkanisationszeit ergeben zunächst ein Ansteigen des spez. Gew. mit dem Maximum 1,872 bei ca. 7 Atm. um dann sich ziemlich schnell zu verringern und bei 12 Atm. den Wert 1,725 zu erreichen".
2. „Variation der Vulkanisationszeit und konstanter Druck von 7 Atm. läßt auch zunächst das spezifische Gewicht ansteigen, das Max. wird bei 70 Min. im Werte 1,884 erreicht. Dann erfolgt Abfallen und man erreicht bei 120 Min. den Wert 1,872. Daraus geht hervor, daß der Vulkanisationsprozeß das spezifische Gewicht verhältnismäßig stark verändert".
3. „Der Durchschnittswert beträgt 1150 kg pro cm^2 des Querschnittes eines Stabes, der auf Biegung beansprucht wird".

Auf Grund der erhaltenen Werte ist der Verfasser der Meinung, „daß nicht ohne weiteres daraus geschlossen werden darf, daß ein innerer Zusammenhang zwischen spez. Gew. und Bruchbiegungsspannung bestände. Dazu wären mehrere Versuchsreihen an verschiedenen Kautschukarten anzustellen. Außerdem müßten dann noch andere mechanische Eigenschaften wie Zug-, Bruch-, Torsionselastizität einer gleichen Untersuchung unterzogen werden".

Ausgehend von der Frage, welche Faktoren die Güte und damit die mechanischen Eigenschaften eines vulkanisierten Kautschuks bedingen, geht Weikart von dem Gedanken aus, daß diese Faktoren abhängig sein werden:

1. Von der Verarbeitungsmethode des aus Latex gewonnenen Rohkautschuks.
2. Von dem Mischungsverhältnis des Rohkautschuks mit den Zusätzen wie Schwefel, Farbstoffe usw.
3. Vom Vulkanisationsprozeß.

So befaßt sich der Verfasser zunächst nur mit der Elastizität verschiedener Kautschuksorten und ihrer Abhängigkeit von verschiedenen Vulkanisationszeiten, -temperaturen. Ferner wie sich ihre Elastizität durch Altern ändert. Deshalb wurden die Messungen an demselben Versuchsobjekt nach drei Jahren wiederholt. Es wurde in folgender Weise vorgegangen: Zahlenmäßig gibt der Elastizitätsmodul die Belastung an, die nötig wäre, um einen Stab um seine eigene Länge zu dehnen. Die Dehnungen müssen innerhalb der Elastizitätsgrenze bleiben. Die verschiedenen Kautschukstäbchen wurden auf zwei festen Schienen lose aufgelegt und in der Mitte mit verschiedenen Gewichten belastet. Der Elastizitätsmodul berechnet sich nach der Formel

$$E = \frac{1 \cdot l \cdot P}{4\, a^3 \cdot b \cdot h}\ \mathrm{kg\,m^2}$$

a = Dicke in mm, l = Länge in mm. Es wurden gleichmäßige Stäbchen hergestellt in der Länge von 60 mm, Breite 4 mm, Dicke = 2,7 mm. b = Breite in mm, P = Belastung in kg. Die Ablesung erfolgte mittels eines Meßmikroskops, dessen Okular mit einer Skala versehen war. Dabei kam der Verfasser zu dem Ergebnis, daß „die mitgeteilten Resultate als Teilergebnisse zu betrachten sind, da sie ihren vollen Wert erst nach Beendigung der weiteren Versuche erhalten, die die Elastizitäts- und Bruchgrenze bestimmen".

Bei Betrachtung der Literatur um 1924 über die Kautschukvulkanisation, kann man sich des Eindrucks nicht erwehren, daß das Studium der Kautschukvulkanisation eigentlich erst richtig um diese Zeit einzusetzen beginnt. So lieferte einen weiteren Beitrag über die Festigkeitseigenschaft des vulkanisierten Kautschuks der Züricher Zahnarzt Wirz, indem er Zerreiß- und Torsionsversuche ausführte. Unter Berücksichtigung aller bisher ausgearbeiteten Fehlerquellen und ihrer Vermeidung stellte sich der Verfasser 3 mm dicke vulkanisierte Platten von geeigneter Form her. Diese

Abb. 4.

zugeschnittenen Proben spannte er in eine Zerreißmaschine, wie sie nebenstehendes Bild darstellt. 5 mm dicke Kautschukplatten werden auf 0,05 mm genau gefräst und auf mit feinstem Schmirgelpapier belegter Richtplatte geglättet, in eine Lehre von bestimmter

Form, wie sie uns das Bild 4 zeigt, eingespannt und ganz exakt zugefeilt. Benutzt wurde die in Bild 5 und 6 dargestellte Zugmaschine. Eine eingebaute Stahlfeder a wird durch Drehung an

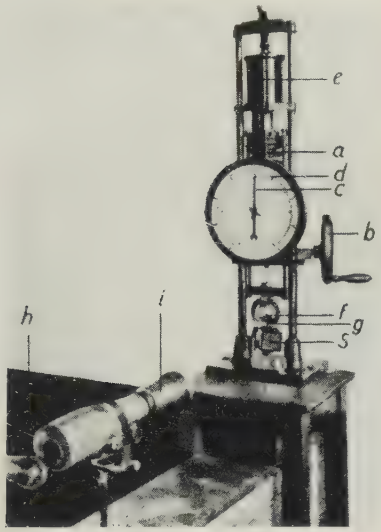


Abb. 5.

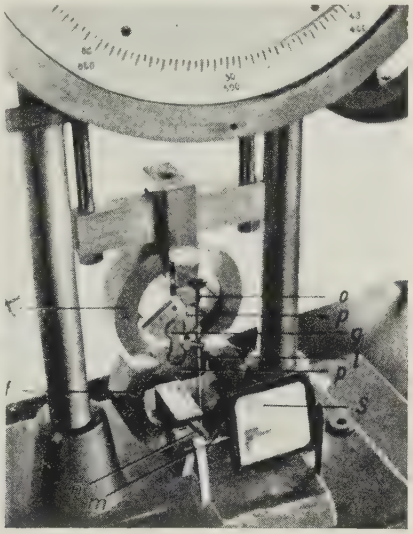


Abb. 6.

einem Triebrad b mit der Hand allmählich gespannt. Diese Feder steht mit einem Zeiger c in Verbindung, der an einem Zifferblatt d die jeweilige Spannung in kg anzeigt. Um beim plötzlichen Nachlassen des Druckes die Kraft der gespannten Feder aufzufangen, ist oben eine Oelbremse e angebracht. Die Einspannungsvorrichtung ist im Prinzip eine doppelte Zange mit Einsätzen p, deren unterer x feststeht, während der obere Einsatz k mit der zu spannenden Feder in Verbindung steht. So können die zu untersuchenden Stücke g eingespannt und einseitig bis zum Bruch gezogen werden. Da die gesamte Verlängerung bis zum Bruch nur ca 1 mm beträgt und die kleinsten Bruchteile der jeweiligen Verlängerung für die Kurve aufzunehmen sind, mußte eine Spiegelvergrößerung angebaut werden. Dabei konnte der Verfasser feststellen, daß „das Zugdiagramm für Zahnkautschuk eine deutliche Proportionalitätszone mit scharfer Elastizitätsgrenze zeigt. Die Fließzone ist ziemlich groß, ebenso die Bruchzone. Betrachtet man bei der Bruchgrenze den Zeiger, so sieht man unmittelbar vor dem Bruch eine sprunghafte Bewegung um oft 50 mm Skalenteile und dies auch bei evtl. kleineren Entspannungen. Die Hysteresiskurven verlaufen in gleichem Sinne".

Zur Feststellung der Torsionselastizität wurde der in Abb. 7 dargestellte Apparat benutzt. Ein Kautschukstäbchen a

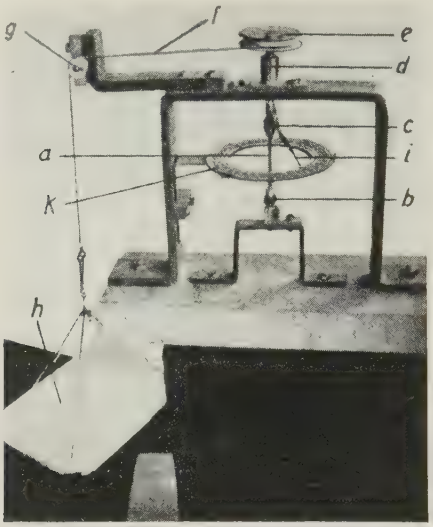


Abb. 7.

nach bestimmten Maßen wird in zwei Feilklobenköpfe eingespannt. Der eine b ist fest montiert, der andere c um die eigene Achse beweglich. Am oberen Ende des beweglichen Kolbens steckt ein Holzrad e. An diesem Holzrad ist eine Seidenschnur f befestigt und aufgewunden. Diese zieht über eine Rolle g. Eine Waagschale h ist an ihr befestigt. Diese Waagschale und alle Gewichte sind 50 g schwer. Am beweglichen Feilkloben ist ein Zeiger i aufgelötet, der auf einer in 360° eingeteilten Scheibe k kreisen kann. So können die Winkelgrade auf der Skala abgelesen werden, die der Zeiger bei jeder Gewichtsauflage neu anzeigt. Außerdem können nun mit Hilfe der Logarithmentafel die zugehörigen Bogenlängen bestimmt und damit entsprechende graph. Darstellungen gezeichnet werden. Nach vielen Versuchen kommt der Verfasser schließlich zu dem Ergebnis, „daß das Material, wie für diese Versuche nach zwei Richtungen hin untersucht werden muß, nämlich Zug und Torsion. Fehlt eine dieser Komponenten, so kann das Resultat wissenschaftlich nicht anerkannt werden. Es besteht eine große Abhängigkeit zwischen der Art der Vulkanisation und der Festigkeit des Zahnkautschuks. Zur Beurteilung dieser Festigkeit ist eine feine Apparatur notwendig. Rein gefühlsmäßige Bewertung eines Materials oder einseitige Untersuchung können

keinen Anspruch auf ein wissenschaftliches Ergebnis haben. Angaben amerikanischer Autoren, die Kautschukvulkanisation müsse langsam und bei niedriger Temperatur vorgenommen werden, sind Trugschlüsse. Das Resultat einer derartigen Vulkanisation ist eine in der Hand leicht biegsame, nach Ansicht des Zahnarztes „die beste Prothese", da sie leicht dem Kaudruck nachgibt. Diese Erfahrungstatsachen stimmen mit den Prinzipien der Festigkeitslehre nicht überein. Ein solcher Kautschuk zeigt beim Zugversuch eine niedrige Elastizitätsgrenze, kleinen Elastizitätsmodul, große Fließzone, niedrige Bruchgrenze. Beim Torsionsversuch eine niedrige bzw. keine Torsionsgrenze. Ein kleiner oder kein Torsionsmodul, kein oder ein kleines Torsionsmoment. Dieser „gut vulkanisierte Kautschuk" des Praktikers verhält sich in Wirklichkeit folgendermaßen: Ein kleiner Kaudruck bedingt große Deformation. Wird die niedrige Elastizitäts- und Torsionsgrenze überschritten, so hat man eine große bleibende Deformation. Eine richtig vulkanisierte Prothese bedingt bei einer geringen Spannung (Kaudruck) eine kleine momentane Spannung über die Elastizitätsgrenze, eine kleine dauernde Deformation. Wird eine Prothese mit der Hand gebogen und läßt man sie wieder in ihre Ruhelage zurückschnellen, so ist sie bei ihrer schlechten Vulkanisation bereits schon über die Elastizitätsgrenze hinaus beansprucht worden. Das gilt auch für die Torsion. Daß die Prothese nun eine bleibende Deformation hat, kann nicht ohne eine feinste Apparatur nachgeprüft werden." So kann durch die vom Verfasser auf Grund seiner Untersuchungen gewonnene Vulkanisationsmethode bestimmt ein homogenes elastisches Vulkanisationsprodukt erwartet werden.

In einer Arbeit untersucht Kluge die physikalischen Eigenschaften einiger durch Drahtgewebe verstärkter Kautschukplatten und kommt dabei zu interessanten Ergebnissen. „Die Festigkeitsziffern des V2A-Stahles, sowie die des Kautschuks sind mit 80 kg mm bzw. 5,2 kg mm für letzteren bekannt. Da nun die Festigkeit eines Drahtgewebes nicht so groß ist, wie die einer Metallbasis gleichen Querschnitts, wurden zunächst Zerreißversuche mit Wipladrahtnetzen der verschiedenen Stärke vorgenommen. Desgleichen Tela-Gewebe. Es zeigte sich, daß das grobmaschige ungewalzte Wiplanetz mit einer Drahtstärke von 0,34 mm und einer Drahtzahl von 130 Drähten auf 600 mm die besten Festigkeitswerte besitzt". Um nun die Versteifung gegen Durchbiegung zu prüfen, wurden eine Anzahl Versuchsstäbe teils aus reinem Kautschuk, teils aus Kautschuk mit Gewebeeinlagen hergestellt. Der Versuchsstab wurde jeweils den Auflagen „R und R 1 (Abb. 9) aufgelegt, durch den Stempel k mit dem eine Meßeinrichtung verbunden war, konnte nun dieser Stab belastet werden. Die erhaltenen Durchschnittswerte ergaben eine Schwächung des Kautschuks dann,

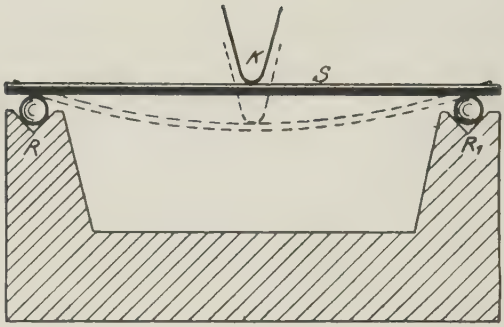


Abb. 9.

wenn die Kautschukseite eines mit Netzeinlage versehenen Stabes auf Zug beansprucht wird. Wurde dagegen die Netzseite auf Zug beansprucht, so konnten annähernd die gleichen Belastungswerte als bei Kautschukstäben ohne Einlage erreicht werden. Das bei den Versuchen wahrzunehmende Knistern während einzelner Belastungsphasen läßt auf eine Störung der mechanischen Metallkautschukverbindung schließen. Um nun das Verhalten von Kautschuk mit Einlage gegenüber reinem Kautschuk bei wechselnden Belastungen zu untersuchen, stellte der Verfasser Dauerbiegeversuche an. Es wurden Versuchsstäbe aus reinem Kautschuk, Kautschuk mit grobmaschiger, ungewalzter wie auch mit gewalzter Wipladrahteinlage, sowie solcher mit Telagewebeeinlage untersucht. Die Biegung erfolgte aus der gestreckten Lage nach einer Seite und zurück. (Abb. 10). Aus den erhaltenen Werten ergab sich, daß

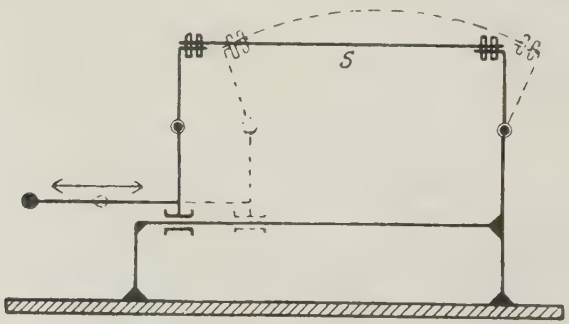


Abb. 10.

der reine Kautschuk bei größerer Durchbiegung und kleinen Wechselzahlen die besten Resultate zeigte. Bei größeren Lastwechselzahlen ergaben allerdings die mit Telagewebe versehenen

Versuchsstäbe bessere Werte, wenn dabei die Schußdrähte auf Zug beansprucht wurden. Dies ist auf die verschiedene Elastizität des Kautschuks und der Metalle zurückzuführen, wobei bei den beiden Werkstoffen so hohe Spannungsdifferenzen auftreten, daß es zu einer Lockerung der mechanischen Verbindung Metall-Kautschuk kommt, gleichzeitig zu einem schnelleren Bruch gegenüber reinem Kautschuk. Im Vergleich zu reinem Kautschuk und den mit Telageweben versehenen Proben, wo die Schußdrähte auf Schuß beansprucht wurden, war das Ergebnis bei den mit Wiplageweben versehenen Stäben zahlenmäßig ungünstig. Der Grund ist in der Kerbwirkung zu suchen". Auf Grund der Versuchsergebnisse sagt der Verfasser, „daß die Telagewebeeinlagen für den Kautschuk eine Verstärkung bedeuten würden, wenn beim Kaudruck die Biegungsbeanspruchungen der Prothese sich nur als Zugkräfte in Richtung der Schußdrähte auswirken würden. So ist die Kombination dieser beiden Werkstoffe zur Herstellung einer Prothesenbasis ein zweischneidiges Schwert. Ein Moment, was man als besonders stärkend hervorhob, kann im nächsten Augenblick in das Gegenteil verwandelt werden. So ist, von dem, was Kautschuk und Metall allein als Plattenbasis verarbeitet, zum Vorteil hatten, nicht viel übrig geblieben. Abgesehen von dem Mangel der Mundbeständigkeit beim Telagewebe wird eine Kautschukplatte mit eingebettetem aus ihr hervorsehenden Drahtnetz wegen der mit der Zeit an den Uebergängen vom Metall zum Kautschuk auftretenden Spaltbildungen zu einer Bakterienbrutstätte. Dadurch genügt sie nicht mehr den hygienischen Anforderungen, die man an eine Prothese stellen muß".

In seinem Leitfaden der zahnärztlichen Materialkunde hält Schönbeck die Prüfung des Zahnkautschuks in Bezug auf seine Quellfähigkeit für wesentlich. Ein in seinen Dimensionen wohlbekannter Versuchskautschukstab wird längere Zeit bei 37° C in die Versuchsflüssigkeit bis zur Hälfte eingetaucht. Nach Beendigung der Versuchszeit wird mit einer Mikrometerschraube nachgeprüft, ob eine Volumvermehrung des eingetauchten Kautschukstückes stattgefunden hat oder nicht. Die mikroskopische Untersuchung ist noch nicht ausreichend vervollkommnet, um als einwandfreie Prüfungsmethode angewandt zu werden. Weiter verweist dann der Verfasser auf die angegebenen Arbeiten von Paetz, Weikart und Wirz, und gibt kurz das Ergebnis dieser Arbeiten wieder.

Nach Orientierung am Zahnärztlichen Material-Prüfungsamt in Berlin, unter Leitung von Herrn Professor Dr. Schoenbeck, wird heute die Prüfung des Kautschuks auf seine Quellfähigkeit weiter durchgeführt, nur tritt in erforderlichen Fällen, in denen die Mikrometerschraube nicht mehr ausreicht, das Meßmikroskop hinzu, um hiermit eine etwaige Veränderung des Volumens fest-

zustellen. Weiterhin wird ein, nach Möglichkeit von der Fabrik selbst vulkanisierter Kautschukstab von 10 cm Länge, 2 cm Breite und 0,5 cm Dicke hergestellt, gut poliert, 5 cm dieses Versuchsstabes werden mit lichtundurchlässigem Papier fest umwickelt und so längere Zeit dem Sonnen- oder künstlichem Licht ausgesetzt. Tritt nach einer gewissen Zeit eine Veränderung der Farbe (z. B. rosa) ein, so können Werturteile über die Farbbeständigkeit der Füllstoffe oder der Farbstoffe des Kautschuks abgegeben werden.

Zur Beurteilung der Porenfreiheit des Kautschuks stellt das Materialprüfungsamt Versuchsstäbe nach dem Vulkanisationsplan der Fabrik oder läßt diese Probestücke selbst von der Fabrik vulkanisieren, von etwa untenstehender Form her. Dieser Keil

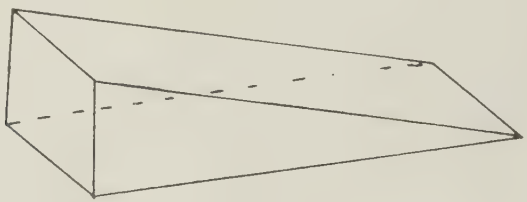


Abb. 11.

wird in einem Feilkloben in seiner Längsachse etwa bis zur Hälfte eingeklemmt und die obere Hälfte abgeschlagen. Ist innerhalb der Bruchfläche mit dem Auge oder Mikroskop an einer bestimmten Stelle Porosität festzustellen, so lassen sich je nach Lage dieser nicht ausreichend vulkanisierten Stelle, gewisse Rückschlüsse auf die Vulkanisation, die von der Fabrik angegeben worden ist, ziehen, da sich ja bekanntlich mit zunehmender Stärke des Kautschuks dessen Steigzeit vor der eigentlichen Vulkanisation ändert.

Zur Bestimmung der Härte des vulkanisierten Kautschuks benutzt das Zahnärztliche Material-Prüfungsamt den Schopper Härte- und Biegefestigkeitsprüfer D. R. P., wie ihn untenstehendes Bild zeigt. Dieses Gerät besitzt einen geschlossenen festen Metallrahmen, in dem der Druckerzeuger und Kraftmesser eingebaut sind. Das Meßbereich des Federkraftmessers beträgt 250 kg, die Unterteilung 2,5 kg. Die Kugelfassung zur Bestimmung der Brinellhärte kann leicht gegen einen Biegestempel ausgewechselt werden, sodaß Biege- und Härteversuche an einem Apparat durchgeführt werden können. Zum Messen der Durchbiegung bei Biegeversuchen und Eindrucktiefen bei Härteprüfungen ist eine Trommel mit Teilung vorgesehen. Nach dem Brinellverfahren wird die Härte des vulkanisierten Kautschuks in der Weise bestimmt, daß eine sehr harte

Stahlkugel von bestimmtem Durchmesser mit einer bestimmten Kraft in die zu untersuchende Kautschukprobe eingedrückt, und

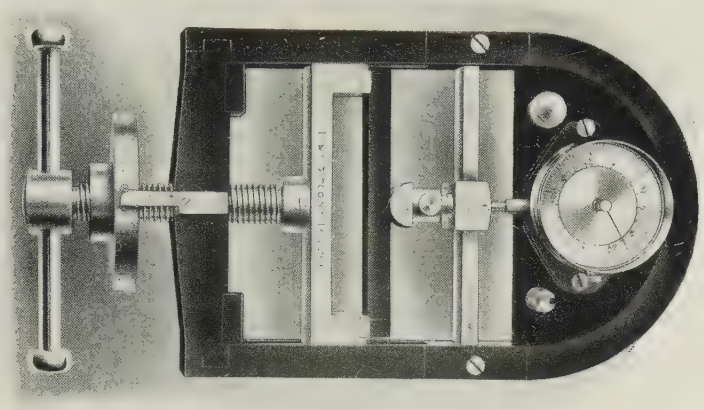


Abb. 12.

die entstandene Eindruckfläche in Bezug auf ihren Durchmesser ausgemessen wird. Die Berechnung der Brinellhärte H erfolgt dann nach der Formel

$$H = \frac{2\,P}{\pi \times D \times (D - \sqrt{D^2 - d^2})}\ \mathrm{kg/mm^2}$$

wobei P die Belastung der Kugel, D den Kugeldurchmesser, d den Durchmesser der Eindruckfläche bedeuten. Die Masse der hierzu verwandten Proben sind etwa $10 \times 0{,}5 \times 0{,}5$ cm oder $10 \times 2 \times 0{,}5$ cm.

Zur Bestimmung der Druckbiegefestigkeit wird an demselben Apparat ein Biegestempel angebracht, ein Probestab mit den Abmessungen $5 \times 5 \times 100 - 120$ mm auf zwei Auflager von einer bestimmten Stützweite aufgelegt und in der Mitte durch einen Druckstempel bis zum Bruch belastet. Der Federkraftmesser zeigt die hierbei auftretende Kraft an.

Für die Bestimmung der Zerreiß- oder Zugfestigkeit der nach Fabrikvorschrift vulkanisierten Kautschukstäbchen von etwa $100 - 120 \times 5 \times 5$ mm benutzt das Zahnärztliche Material-Prüfungsamt die in Bild 21 dargestellte Zugfestigkeitsprüfmaschine. Diese Maschine beruht auf dem Prinzip der Pendelwaage und gewährleistet sehr genaue Messungen, wobei die ununterbrochene Beobachtung der Kraftanzeige ermöglicht ist. Beim Bruch der Probe geht der Krafthebel selbsttätig in seine Ausgangsstellung zurück,

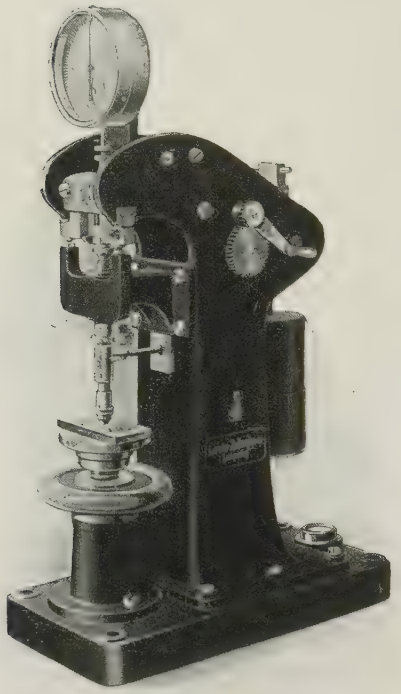


Abb. 15a.

wobei der Rücklauf gedämpft wird. Die größte erreichte Belastung wird durch einen Zeiger an der Skala angezeigt und kann somit abgelesen werden. Durch Aufstecken oder Abnehmen von Pendelgewichten, sind mehrere Kraftmeßstufen vorgesehen, um Stoffe mit verschiedener Festigkeit an einer Maschine untersuchen zu können. Die Dehnung wird in der Weise bestimmt, daß die Aenderung der Entfernung der Einspannklemmen während des Versuchs gemessen wird. Zum Aufzeichnen der Belastungen in Abhängigkeit von der Dehnung kann diese Maschine mit einem Schaulinienzeichner ausgestattet werden, wobei die Kräfte und Dehnungen selbsttätig übertragen werden.

Die Bestimmung der Schlag-Biegefestigkeit des vulkanisierten Kautschuks am Zahnärztlichen Materialprüfungsamt wird nach der Schlagbiegeprobe durchgeführt. Hierzu wird das in der Abbildung 14 wiedergegebene Pendelschlagwerk benutzt, allerdings ohne Skalenscheibe, die die Größe des Fallwinkels anzeigt und ohne Beobachtungsfernrohr wie es in diesem Bild dargestellt ist. Das Pendel schwingt um eine Achse, die in einem gabelförmigen

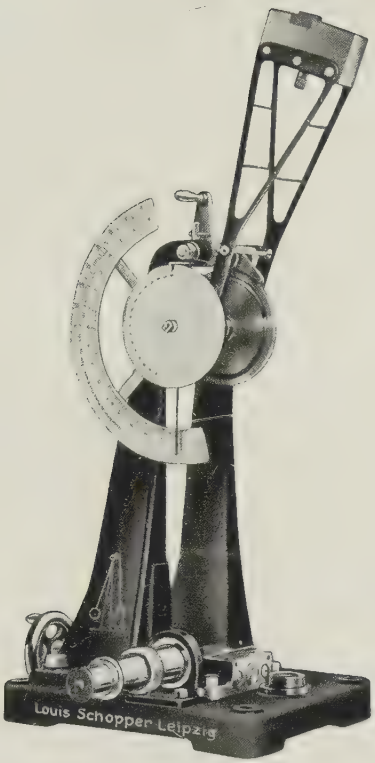


Abb. 14.

Gestell gelagert ist, wird in Hochlage gebracht ausgelöst, wobei eine bestimmte Arbeit frei wird. Es trifft in seiner Tiefstlage auf den Probekörper, der quer zur Flugbahn des Pendels aufgelagert ist, wobei ein Teil seiner Energie zur Zerstörung der Probe verbraucht wird. Die im Pendel verbleibende Arbeit bewirkt ein Durchschwingen nach der anderen Seite, wobei je nach der Größe der Restarbeit eine mehr oder weniger große Steighöhe erreicht wird. Aus der bekannten, ursprünglich vorhandenen Arbeit, weniger der, aus der Steighöhe des Pendels festzustellender Restarbeit, ergibt sich die von der Probe aufgenommene Arbeit. Dieses Schlagwerk dient dazu das Arbeitsvermögen von Proben zu bestimmen, deren geringe Abmessungen ein zweiseitiges Auflagern nicht gestatten. Es ist mit einem Schraubstock ausgerüstet, in dem die Proben einseitig eingespannt werden, um an ihrem freien Ende durch das Pendel mit der Schlagnase beansprucht zu werden. Die Messung der verbrauchten Schlagarbeit erfolgt in der oben

angegebenen Weise wie bei den Schlagbiegeversuchen. Die zu den Versuchen benutzten Proben haben ein Maß von 0,5 × 2 × 10 cm, aus denen die Schlagnase ein Stück des Probestückes herausschlägt, das in seiner Dicke von 0,5 mm beansprucht wird.

Vorliegende Zusammenstellung der mir erreichbaren Prüfungsmethoden zur Erfassung der physikalischen Eigenschaften von vulkanisiertem Kautschuk in der Zahnheilkunde zeigt, mit Ausnahme des Zahnärztlichen Material-Prüfungsamtes in Berlin, folgendes: Der vulkanisierte Kautschuk hat außer innerhalb der fortschreitenden Technik auch in der Zahnheilkunde ein erhebliches Verwendungsgebiet im Laufe von Jahrzehnten eröffnet. Da, wo Kautschuk zu technischen Zwecken verarbeitet wird, bei denen seine physikalischen Eigenschaften beansprucht werden, bemüht man sich, ihn auf seine Festigkeitseigenschaften hin zu prüfen. Aber all diese Prüfungen sind, mit Ausnahme des Zahnärztlichen Materialprüfungsamtes, noch nach keinen grundlegenden, umfassenden einheitlichen Gesichtspunkten hin betrachtet und durchgeführt worden. Dabei wird keineswegs der Wert der physikalischen Prüfung des Zahnkautschuks in zahnärztlichen Kreisen unterschätzt. Man ist vielmehr der Ansicht, daß die physikalische Prüfung des vulkanisierten Kautschuks als Werkstoff ein unentbehrlicher Gütemaßstab geworden ist, er jedoch sowohl in Erzeuger- wie in Abnehmerkreisen vielfach einer umfassenden Prüfung noch nicht unterzogen wird. Man begnügt sich damit, ein oder zwei physikalische Eigenschaften, wie z. B. das spez. Gew. und Bruchfestigkeit im Verhältnis zum Vulkanisationsprozeß (Paetz), oder Elastizität in Abhängigkeit von verschiedenen Vulkanisationszeiten (Weikart), der allerdings seine Resultate bereits nur als Teilergebnisse betrachtet, oder Zerreiß- oder Torsionsversuche unter Einfluß der Vulkanisation (Wirz), wobei der Verfasser zu dem bereits erwähnten Ergebnis kommt, oder Zerreiß- und Dauerbiegeversuche mit und ohne Drahtgewebeeinlage (Kluge) zu prüfen. So möchte ich all diese bisherigen Prüfungsmethoden und Ergebnisse in Bezug auf Kautschuk in der Zahnheilkunde als individuelle Prüfungsmethoden mit Teilergebnissen betrachten, die ein allgemeines Werturteil über die Güte des vulkanisierten Kautschuks als Werkstoff nicht zulassen, ganz abgesehen von den einzelnen Prüfungsverfahren, deren oft nicht ausreichende, unvollkommene Technik oft versagt und bei exaktem Studium vielleicht Zweifel an der Richtigkeit der erzielten Ergebnisse aufkommen lassen kann. Jeder Fabrikant baut sich selbst eine Apparatur für physikalische Prüfung seiner speziellen Fabrikation zusammen, bringt es evtl. fertig zu ergründen, was er von seinem Fabrikat wissen will, ist dann aber vielleicht sichtlich überrascht, enttäuscht oder gar wirtschaftlich schwer getroffen, wenn irgendwo ein Abnehmer sich

der Mühe der Prüfung verschiedener Kautschuksorten mit anderen Prüfungseinrichtungen und -methoden unterzieht und diese Prüfung als Vergleichsmaßstab zur Beurteilung des Erzeugnisses heranzieht, wenn sein Fabrikat den gestellten Anforderungen nicht genügt. Somit ist die Notwendigkeit einer umfassenden anerkannten Prüfungsmethode zur Erfassung der physikalischen Eigenschaften des vulkanisierten Kautschuks als Werkstoff in der Zahnheilkunde gegeben. Wenn diese allgemein gültige Prüfungsmethode für Zahnkautschuk festgelegt ist, so können auch neuere Werkstoffe wie Neo-Hekolith, Gingivist, die evtl. den Kautschuk vom Markt zum Teil verdrängen könnten, denselben oder ähnlichen physikalischen Prüfungen ausgesetzt werden, denn auch sie müssen zumindest die gleichen Festigkeitswerte besitzen, wie der so lang bewährte Zahnkautschuk. Wenn diese Werkstoffe für zahnersatzkundliche Zwecke nach einer einheitlichen Methode geprüft werden können, ob sie allen Anforderungen, die an sie gestellt werden gerecht werden, so kann nicht nur der Dank der Kunden und deren Patienten geerntet werden, sondern auch wirtschaftliche Rückschläge können auf ein Mindestmaß herabgesetzt werden. So möchte ich im Einvernehmen mit dem Zahnärztlichen Materialprüfungsamt in Berlin, dessen umfassende Kautschukprüfung bereits oben dargestellt wurde, folgende einheitliche Prüfungsmethode vorschlagen:

1. Brinell-Härte.

Nach dem Brinellverfahren wird die Härte eines Werkstoffes in der Weise bestimmt, daß eine Kugel mit einer bestimmten Kraft in die zu untersuchende Probe eingedrückt und die entstandene Eindruckfläche in Bezug auf ihren Durchmesser ausgemessen wird.

Der Quotient $\frac{\text{Druckkraft } P}{\text{Kalotten-Oberfl. } F}$ gilt als Härtemaß. Die Berechnung der Brinellhärte erfolgt dann nach der Formel

$$H = \frac{2\,P}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}\ \text{kg/mm}^2$$

P = Belastung der Kugel, D = Kugeldurchmesser, d = Eindruckflächendurchmesser.

Nach VDE 0302 und DIN 7701 wird die Härte in der Weise bestimmt, daß eine Stahlkugel von 5 mm Durchmesser mit einer Belastung von 50 kg in die Probe eingedrückt und die Eindrucktiefe nach 10 und 60 Sekunden gemessen wird. Aus der Eindrucktiefe wird die Brinellhärte berechnet nach der Formel

$$H = \frac{P}{\pi \cdot D \cdot t}\ \text{kg/qcm}\quad (t = \text{Zeit}).$$

Die Größe der anzuwendenden Belastung der zu wählenden Kugeln und die sonstigen Meßbedingungen sind abhängig von der Art des zu untersuchenden Werkstoffes und der Dicke der Proben. In DIN 1605 ist dafür folgendes festgelegt:

Dicke der Probe mm	Kugeldurchmesser D mm	Belastung P kg			
		30 D^2	10 D^2	5 D^2	2.5 D^2
über 6	10	3000	1000	500	250
von 6 bis 3	5	750	250	125	62,5
unter 3	2,5	187,5	62.5	31,2	15,6

Die Belastung ist so zu wählen, daß der Durchmesser des Kugeleindruckes $d = 0{,}2 - 0{,}5\ D$ wird, sie ist stoßfrei, während 15 Sekunden gleichmäßig zu steigern und in der Regel 30 Sekunden auf ihrem Endwert zu belassen. Der Eindruckmesser d ist auf 1/100 mm anzugeben, bei unrunden Eindrücken ist der mittlere Durchmesser maßgebend. Zur Kennzeichnung der angewandten Versuchsbedingung dient die Schreibweise H 10/3000/30, für z. B. D = 10 mm, P = 3000 kg und 30 Sekunden Belastungsdauer.

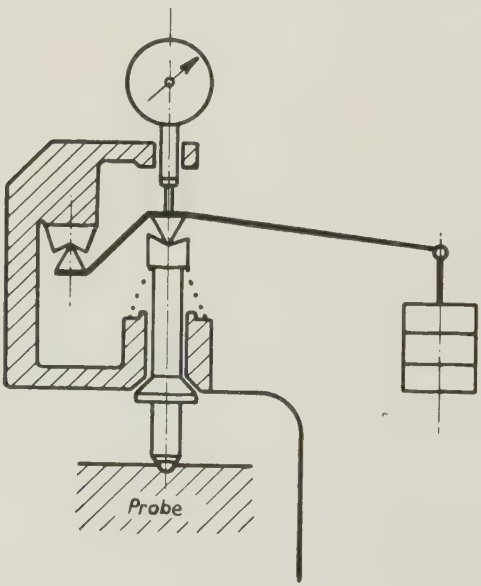


Abb. 15.

Für solche Untersuchungen kann z. B. der in Abbildung 15 u. 15a dargestellte oder irgend ein anderes Fabrikat, das in gleicher Weise arbeitet, Verwendung finden. Der hier angeführte Apparat besitzt ein kräftiges Gestell, in dem ein Druckbalken in Schneiden gelagert ist. Mit dem Druckbalken ist ein Gehänge verbunden, das Gewichte aufnehmen kann. Dieser Druckbalken übersetzt die Druckkraft der Gewichte auf den Druckbolzen. Die Gewichte können ausgewechselt und verschiedene Belastungsstufen eingestellt werden. In der Verlängerung der Druckbolzenachse ist eine Feinmeßuhr angebracht, die auf 1/100 mm die Bewegung des Bolzens anzeigt und unmittelbar die Tiefe der Druckkugel unter Last in die Probe ablesen läßt. Der Probekörper wird auf einer Auflageplatte durch Hochdrehen einer Spindel mit der Druckkugel in Berührung gebracht. Be- und Entlastung erfolgt durch Drehen einer Kurve, wegen der Gleichmäßigkeit aller Versuche wäre ein Elektromotor zum Antrieb geeignet.

2. Druckbiegefestigkeit.

Zur Bestimmung der Biegefestigkeit wird nach VDE 0302 und DIN 7701 ein Probestab mit den Abmessungen 10 × 15 × 120 mm auf 200 mm voneinander entfernte Auflager A (Abb. 16) gelegt und in der Mitte durch einen Druckstempel stoßfrei bis zum Bruch belastet. Die Belastung P ist mit einer Geschwindigkeit von 250 kg/qcm

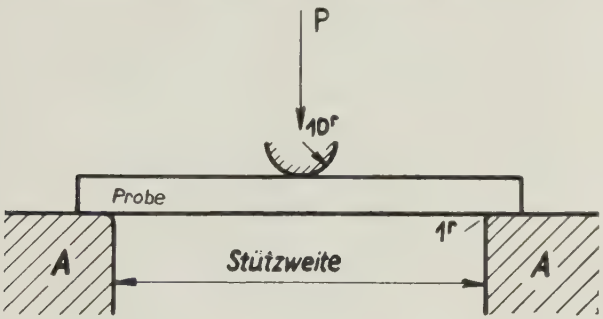


Abb. 16.

Min. zu steigern. Gleichzeitig wird die Größe der Durchbiegung der Proben unter Einwirkung der Belastung gemessen. Zur Durchführung dieser Prüfung dient z. B. der Schopperbiegefestigkeitsprüfer JBP 250. (Abb. 17) Er besteht aus dem Unterteil, in dem sich der Antrieb befindet, dem Oberteil mit dem Kraft- und Durchbiegungsmesser, den zwei Säulen, die das Unterteil mit dem Oberteil verbinden. Die entsprechende Druckkraft der Kraftmeßfeder wird von einem Zeiger auf der Kraftskala angezeigt. Beim Bruch des

Probekörpers bleibt der Zeiger auf dem erreichten Teilstrich stehen. Nach Ablesen des Versuchswertes wird durch ein Hand-

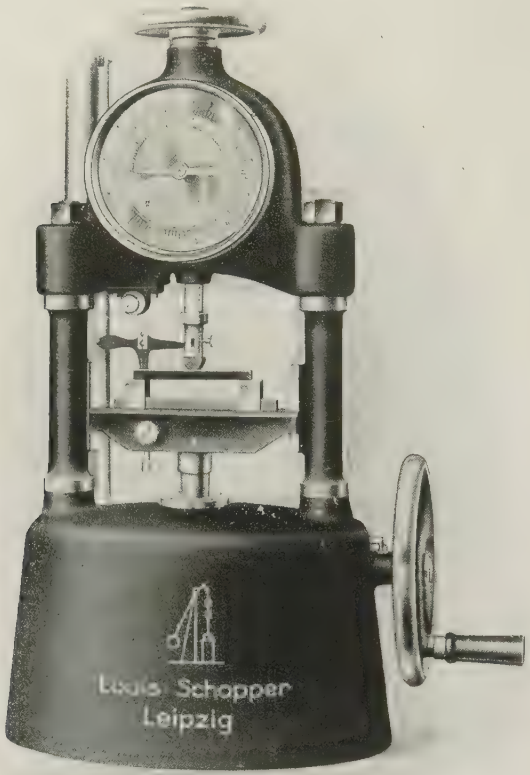


Abb. 17.

rad der Zeiger wieder auf den Nullpunkt zurückgestellt. Die Durchbiegung wird mit einer Tasterstange gemessen, die durch ein Meßwerk mit dem Zeiger in Verbindung steht, der die Größe der Durchbiegung anzeigt. Beim Bruch des Probestückes bleibt die Tasterstange an der erreichten Stelle stehen und wird durch Ziehen eines Rändelknopfes wieder auf die Nullstellung gebracht. Die Proben werden auf einen Balken gelegt, der nach oben und unten beweglich ist. Auf diesem Balken befinden sich zwei Auflager, die beliebige Stützweiten gestatten. Der Antrieb erfolgt durch Handantrieb, wobei die Uebersetzung so gewählt ist, daß bei etwa 70 Umdrehungen pro Minute die vorgeschriebene Belastungsgeschwindigkeit gegeben ist. Günstiger ist der Antrieb durch Elektromotor.

3. Schlagfestigkeit.

Nach VDE 0302 und DIN 7701 A soll der Schlagbiegeversuch mit einem Normalpendelschlagwerk unter Benutzung von Versuchsstäben mit den Maßen 10 × 15 × 120 mm bei 70 mm Stützweite, durchgeführt werden. Ein Pendelschlagwerk mit einem Arbeitsinhalt bis 10 bzw. 40 m/kg ist dafür ausreichend. Das Schopperpendelschlagwerk PSW 10/40 entspricht den Richtlinien des VDE und ist nach dem Charpy'schen Prinzip gebaut. Ein Pendel schwingt

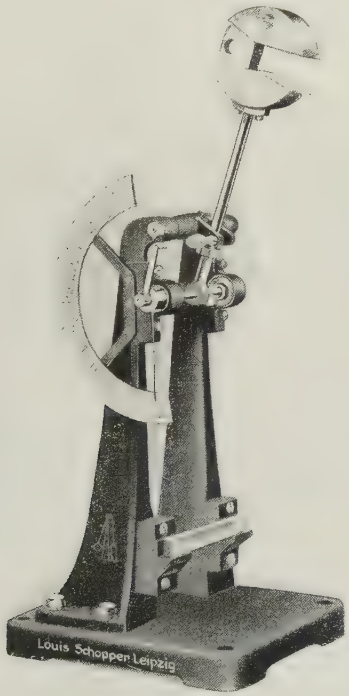


Abb. 18

um eine Achse, die in ein Gestell gelagert ist, wird in Hochlage gebracht und trifft beim Herunterfallen an seinem tiefsten Punkt auf den Probekörper, der senkrecht zur Schwingebene des Pendels ausgelagert ist. Beim Durchschlagen des Probekörpers wird ein Teil seiner Energie verbraucht. Die nichtverbrauchte Arbeit bewirkt ein Durchschwingen nach der anderen Seite von mehr oder weniger großer Steighöhe. Aus der bekannten ursprünglich vorhandenen Arbeit, weniger der aus der Steighöhe des Pendels

festzustellender Restarbeit, ergibt sich die von dem Versuchsstab aufgenommene Arbeit. Die Steighöhe wird durch einen Schleppzeiger angezeigt, auf einer Skala, die die verbrauchte Schlagarbeit unmittelbar in cm/kg ablesen läßt. Dieses Schlagwerk ist mit auswechselbaren Pendeln zu versehen. Da gekerbte Versuchsstäbe besonders deutlich erkennen lassen, wie groß die Fähigkeit des Werkstoffes ist, bei stoßartiger Beanspruchung Arbeit zu verzehren, werden für diese Untersuchungen gekerbte Proben verwandt. Das auf diese Weise bestimmte Gütemaß wird deshalb auch als Kerbzähigkeit bezeichnet. Die gebräuchlichsten Probeformen sind in Abb. 19 wiedergegeben.

4. Zerreiß- oder Zugfestigkeit.

Nach VDE wird die Zugfestigkeit unter Verwendung eines Zerreißstabes gemäß Abbildung 1, nach DIN eines Stabes nach Abbildung 2 bestimmt. Für Vollstäbe und Flachleisten nach VDE 0318 kommen Abschnitte von 200 mm in Frage, deren Querschnitt gleich dem des zu untersuchenden Profils ist. (Abb. 20)

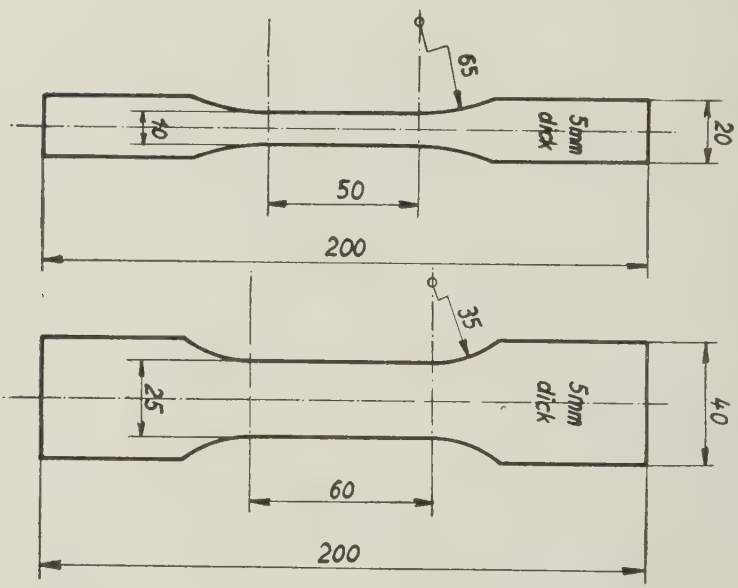
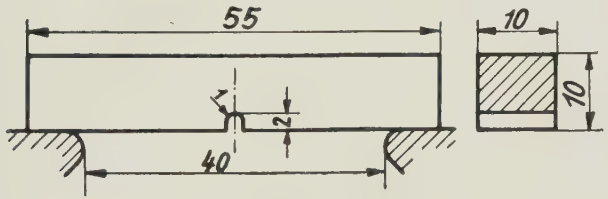
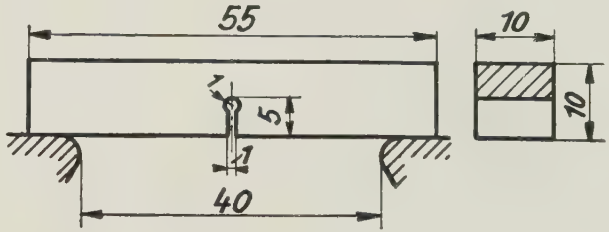


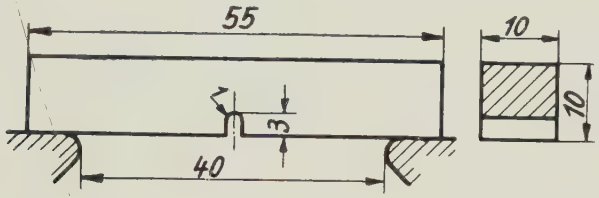
Abb. 20



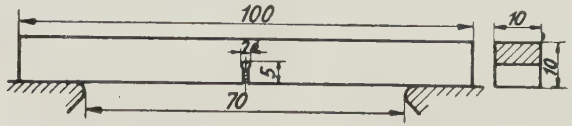
DVM-Normprobe



JSA-Probe



Mesnager-Probe



Kleine Probe des Internationalen Verbandes für die Materialprüfung der Technik

Abb. 19

Das Bild zeigt eine Zugfestigkeits-Prüfmaschine für elektrischen und Handbetrieb (Abb. 21). Sie beruht auf dem Prinzig der Pendel-

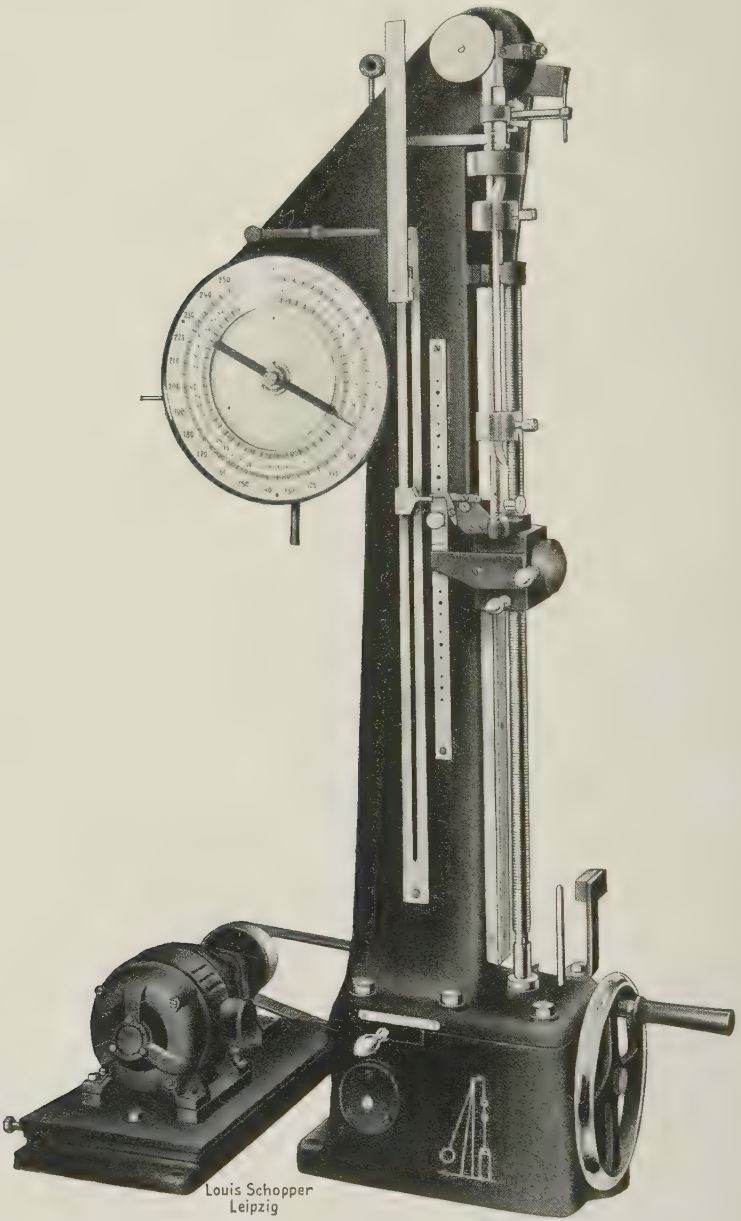


Abb. 21

waage und ermöglicht eine ununterbrochene Beobachtung der Kraftanzeige. Die maximale Belastung wird auf einer Kreisskala angezeit und kann nachträglich abgelesen werden. Durch Auf- und Ablegen von Pendelgewichten sind mehrere Kraftmeßstufen vorgesehen. Die Größe der Dehnung wird auf einem Lineal von 0—200 mm angezeigt. Beim Bruch wird der Dehnungsmesser selbsttätig festgesetzt. Die Maschine kann mit einem Schaulinienzeichner ausgestattet werden. Der Antrieb erfolgt durch Handrad oder Elektromotor mit Stufenscheiben, die Klemmen- Tiefgangsgeschwindigkeiten von 25, 50, 100 mm/Min. einzustellen ermöglichen. Beide Antriebsvorrichtungen können durch eine bequem zu schaltende Kupplung wahlweise in Betrieb genommen werden. Die Einspannvorrichtungen können geändert werden. Kann diese Maschine mit einem Druckgehänge ausgestattet werden, daß damit zugleich Biegefestigkeitsprüfungen nach VDE 0302 und die 7701 vorgenommen werden können, so erübrigt sich aus wirtschaftlichen Erwägungen die Anschaffung des Biegefestigkeitsprüfers IBP 250.

5. Torsionselastizität.

Zur Bestimmung der Torsionselastizität möchte ich als Beispiel den Schopper Verdrehungsfestigkeitsprüfer vorschlagen, in den ein Kautschukstab von 5 mm Durchmesser und 100 mm Länge eingespannt werden kann. Hiermit kann die Größe des jeweiligen Torsionsmomentes gemessen werden und die Größe des Verdrehungswinkels bzw. die Anzahl der Umdrehungen, bei denen der Bruch erfolgt. Außerdem kann ein Schaulinienzeichner zum Aufzeichnen der Torsionsmomente und des Verdrehungswinkels angebracht werden (Abb. 22).

6. Das spezifische Gewicht.

Nach den bisherigen statischen und dynamischen Prüfungen des vulkanisierten Kautschuks, halte ich die Bestimmung seines spezifischen Gewichtes für angebracht, das uns Vergleichsmöglichkeiten verschiedener Kautschukfabrikate über das absolute Gewicht bzw. Schwere einer Prothese gibt. Mit Hilfe eines Glasfläschchens mit eingeschliffenem Stöpsel, der mit einer feinen Durchbohrung versehen ist, läßt sich das spez. Gewicht auf einfache Weise bestimmen. Dies Pyknometer wird mit Wasser von 4^0 C gefüllt, der Stöpsel eingesetzt, sodaß die überschüssige Flüssigkeit durch die Bohrung des Stöpsels ausfließen kann und wird durch Abwischen mit einem Tuch oder Fließpapier entfernt. Dann wird das Gewicht des Fläschchens mit Wasser genau festgestellt und als p_1 bezeichnet. Jetzt wird das zu untersuchende Kautschukstück p gewogen, in das Fläschchen mit Wasser gebracht, indem es den Teil

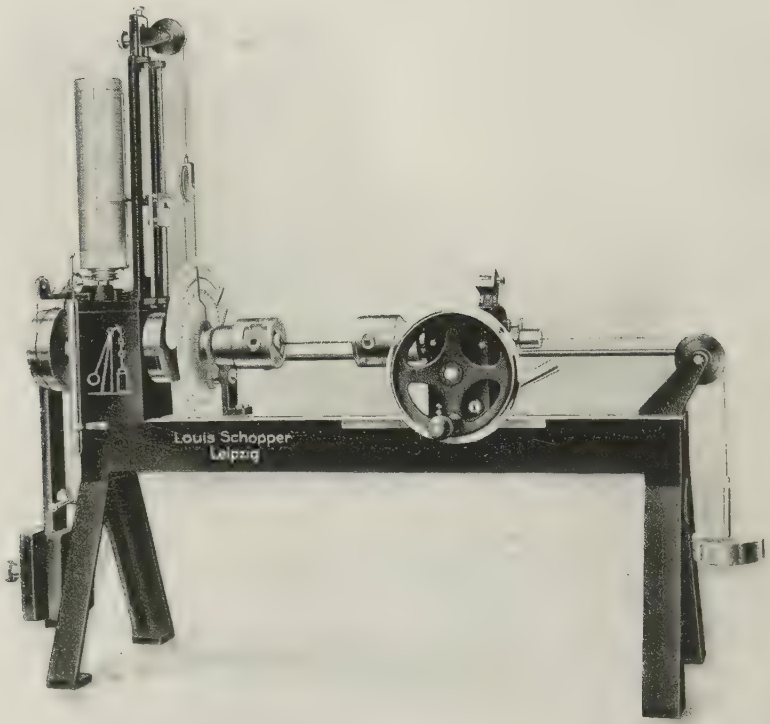


Abb. 22.

seines Volumens an Wasser verdrängt. Nach abermaligem Abtrocknen des Fläschchens wird das Gewicht des Glases mit dem Versuchskörper p_2 bestimmt. Dann ist $p + p_1 - p_2 =$ Gewicht der verdrängten Wassermenge. Dann ist das spez. Gewicht $= \frac{p}{p + p_1 - p_2}$

Wird Wasser von 15° C verwandt, so ist eine Korrektur notwendig, da das spez. Gewicht des Wassers bei 15° C nach Griesbach 0,999154 [1]) beträgt.

7. Quellung.

Nach der Prüfungsmethode des Zahnärztlichen Material-Prüfungsamtes ist die Volumzunahme durch Quellung eines rosa

1) Physikalische-chemische Propädeutik Bd. II Lpz. 1915.

Kautschukstabes mit den Abmessungen 100 × 20 × 5 mm so durchzuführen, daß dieser Versuchsstab 12, 24 oder 48 Stunden bei 37° C in einer Versuchsflüssigkeit bis zur Hälfte eingetaucht wird. Nach Beendigung der Versuchszeit wird mit einem Meßmikroskop nachgeprüft, ob eine Volumzunahme des eingetauchten Kauschukstückes festzustellen ist.

8. Farbbeständigkeit.

Um die Farbbeständigkeit gegenüber Licht von rosa Kautschuk nachzuprüfen, möchte ich nach dem Prinzip des Zahnärztlichen Materialprüfungsamtes einen Versuchsstab von 100 × 20 × 5 mm, gut poliert, 75 mm mit lichtundurchlässigem Papier fest umwickelt und so, 6 oder 12 Stunden in einer bestimmten Entfernung, einer künstlichen, dem Sonnenlicht in der Wirksamkeit entsprechenden Lichtquelle von bestimmter Stärke ausgesetzt, vorschlagen. Nach 6 oder 12 Studen Lichteinwirkung wird das lichtundurchlässige Pagier um 25 mm verschoben, sodaß nun 50 mm des Kautschukstabes dem Licht ausgesetzt werden. Nach weiteren 6 oder 12 Stunden abermals um 25 mm verschoben, sodaß jetzt 75 mm des Stabes der Lichteinwirkung ausgesetzt sind. Somit sind an einem Stab 25 mm einer Lichteinwirkung von 18 oder 36 Stunden 25 mm einer Lichteinwirkung von 12 oder 24 Stunden, 25 mm einer Lichteinwirkung von 6 oder 12 Stunden und 25 mm keiner Lichteinwirkung ausgesetzt worden. Tritt nach diesen verschiedenen Belichtungszeiten eine Veränderung des hochpolierten Kautschuks ein, so kann ein Werturteil über dessen Farbbeständigkeit gegenüber Licht abgegeben werden und ist mit anderen Fabrikaten, die derselben Lichteinwirkung ausgesetzt sind, zu vergleichen.

9. Porenfreiheit.

Zur Beurteilung der Porenfreiheit in Bezug auf den Vulkanisationsprozeß möchte ich nach dem Prinzip des Zahnärztlichen Material-Prüfungsamtes in Berlin folgendes vorschlagen: Ein vulkanisierter Kautschukkeil mit den Abmessungen 15 × 15 × 50 — 75 mm wird in seiner Längsachse in einen Feilkloben gespannt und sein freies Stück abgeschlagen. (Abb. 11, S. 18). Ist innerhalb der Bruchfläche in der Längsrichtung an einer bestimmten Stelle mit dem Auge oder Mikroskrop Porosität festzustellen, so lassen sich je nach Lage dieser Poren, Rückschlüsse auf die Vulkanisation machen.

Bei all den Versuchsproben, die zur Prüfung des Kautschuks verwandt werden, ist die von dem Hersteller ausgearbeitete Vulkanisationsvorschrift genauestens einzuhalten.

Die in 1—5 angegebenen Festigkeitsprüfungen sind in die allgemeingültige Prüfungsmethode der deutschen Industrienorm eingereiht worden. Weiterhin sind die in 6—9 vorgeschlagenen Prüfungsmethoden unter spezieller Berücksichtigung des Kautschuks in der Zahnheilkunde, nach einheitlichen Richtlinien durchführbar, erweiterungs- und ausbaufähig. Der Fortschritt liegt hierbei in der Gesamtheit der vorgelegten Prüfungen, deren Ergebnisse ein Werturteil über die Güte des Kautschuks ermöglichen. Die erhaltenen Prüfungsergebnisse lassen nicht nur Vergleichsmöglichkeiten verschiedener Fabrikate zu, sondern es lassen sich nach diesen Werten Normen aufstellen, die jedes Kautschukfabrikat, das auf den Markt kommt, erfüllen müßte. Dadurch würde eine Leistungssteigerung der Dental-Kautschukindustrie im freien Wettbewerb ins Leben gerufen, die Normen können verbessert werden, die Forderungen verschärft und damit würde die Güte des Werkstoffes Kautschuk in der Zahnheilkunde im Laufe der Zeit zunehmen, was als eine wünschenswerte Entwicklung im Rahmen der Erzeugung und Leistung der freien Wirtschaft zu bezeichnen wäre.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die in vorliegender Arbeit angeführten Prüfungsmethoden verschiedener Autoren einheitliche umfassende Gesichtspunkte nicht erkennen lassen. Der jeweilige Verfasser prüft eine oder zwei physikalische Eigenschaften z. B. Elastizität und Torsion mit individuell angefertigten Apparaten, deren Ergebnisse Vergleichsmöglichkeiten mit anderen durchgeführten Prüfungen nicht zulassen, da die von den Autoren angewandten Maße der Versuchsproben und die Methodik dieser Prüfungen nicht aufeinander abgestimmt sind. Eine Ausnahme bildet das Zahnärztliche Materialprüfungsamt in Berlin, wo der vulkanisierte Kautschuk nach bestimmten Maßen der Versuchsproben mit besonderen Prüfungsmaschinen in Bezug auf seine Brinellhärte, Druckfestigkeit, Zerreißfestigkeit, Schlagfestigkeit sowie Farbbeständigkeit, Porenfreiheit und Quellfähigkeit hin untersucht wird. Hier wird also der Kautschuk einer umfassenderen physikalischen Prüfung unterzogen.

Auf Grund dieser Feststellungen habe ich in vorliegender Arbeit im Einvernehmen mit dem Zahnärztlichen Materialprüfungsamt in Berlin eine allgemeine Prüfungsmethode angegeben. Dieser Methode liegen Maße der zu verwendenden Versuchsproben und Apparate zu Grunde, die in der deutschen Industrienorm festgelegt sind. Nicht die Einzelprüfung ist ausschlaggebend für die Beurteilung des Kautschuks, sondern in der Gesamtheit der vorgelegten Prüfungen, deren Ergebnisse ein Werturteil über die Güte des Kautschuks zulassen, liegt der Fortschritt.

Schriftennachweis.

Brammer: Ueber Kautschukschrumpfung, ihre Bedeutung und ihre Behebung. Zschr. f. zahnärztl. Mat.-Kunde Bd. III Heft 1 S. 1. (1928).

Bright: Dynamische Abmessungen der verschiedenen Kautschukarten. Korrespondenzbl. f. Zahnärzte XX, Heft 1, S. 62. (1891).

Fischer: Aus dem Zahnärztlichen Materialprüfungsamt. Zahnärztl. Mitteilungen Heft 41. S. 924/925. (1936).

Gysi: Kautschukvulkanisation. Schw. Vjschr. f. Zahnheilkunde XXXI Nr. 2 S. 99. (1921).

Grimsehl: Lehrbuch der Physik. Bd. 1 S. 180—195. (1923).

Jung u. Müller: Einige Versuche über das Vulkanisieren des Kautschuks. Korrespondenzbl. f. Zahnärzte. XXVI, Heft 1 S. 1. (1897).

Kluge: Untersuchungen über die Drahtgewebeeinlagen in Kautschukprothesen. Diss. München 1935.

Paetz: Bestimmung des spezifischen Gewichtes von Zahnkautschuk und eine einfache Versuchsmethode zur Ermittlung der Bruchfestigkeit dieses Materials in Beziehung zum Vulkanisierprozeß. Dtsch. zahnärztl. Wschr. XXIV Nr. 44 S. 1. (1921).

Saehrendt: Ueber die Verbindung des Kautschuks mit Metallplatten unter besonderer Berücksichtigung des Krupp'schen Chromnickelstahls V2A oder Wipla-Metall. Zahnärztl. Rdsch. XXXVI Heft 6 S. 86; Heft 7 S. 103. (1927).

Schoenbeck: Kurzer Leitfaden der zahnärztlichen Materialkunde S. 35. (1931).

Schopper: Druckschriften Nr. 458a, 658, 705, 710, 711 A.

Snow: Ueber die physikalischen Eigenschaften des Kautschuks. Dtsch. Mschr. f. Zahnheilkunde VI. Heft 1 S. 43. (1888).

Weikart: Untersuchung der mechanischen Eigenschaften verschiedener Zahnkautschukpräparate. Zschr. f. zahnärztl. Mat.-Kunde, I Heft 3, Heft 4 (1926).

Wirz: Der Einfluß der Vulkanisation des Zahnkautschuks auf dessen Festigkeit. Schw. Vjschr. f. Zahnheilkunde XXXIV Nr. 3 S. 119. (1924).

Lebenslauf.

Am 9. Januar 1912 wurde ich, Fritz Karl Philipp Konze als Sohn des, am 14. Dezember 1923 verstorbenen Polizei-Oberwachtmeisters Ludwig Konze und dessen Ehefrau Elise, geb. Bunzenthal zu Heringen/Werra, Kreis Hersfeld, Bez. Kassel, geboren und evangelisch getauft. Meine Mutter starb am 29. Juni 1922. Nach bestandener Reifeprüfung an der Oberrealschule zu Grünberg/Hessen im Februar 1933 begann ich im Sommersemester mit dem Studium der Zahnheilkunde in Marburg. Daselbst legte ich nach drei Semestern die zahnärztliche Vorprüfung ab. Anschließend diente ich ein Jahr freiwillig bei der ersten Batterie der leichten Artillerie-Abteilung in Ohrdruf/Thüringen. Danach setzte ich mein Studium an derselben Universität fort und bestand nach weiteren vier Semestern das zahnärztliche Staatsexamen.

Meine akademischen Lehrer während des Studiums waren die Herren Professoren und Dozenten: Baumann, Baur †, Baars, Boeminghaus, Dabelow, Dittler, Elbrecht, Fliege, Grüneisen, Kunzendorf, Laubender, Loebell, Meerwein, Pfannenstiel, von Reckow, Rix, Ruete, Schedtler, Versé.

Herrn Professor Dr. Elbrecht danke ich für die Ueberlassung der Arbeit und seine Anregungen, und dem Direktor des Zahnärztlichen Materialprüfungsamtes Berlin, Herrn Professor Dr. Schoenbeck, für Beratung über die Methodik der Kautschukprüfverfahren.